

염진해 특성이 향상된 COS의 개발에 관한 연구

김인성, 한동희*, 안명상*, 조한구*, 강동필*, 황동석**
한국전기연구소 *, 새명전기공업**

Research and development of advanced COS for anti-contamination

I.S. Kim, D.H. Han, M.S. Ahn, H.G. Cho, D.P. Kang, D.S. Hwang
Div. of Electrical Materials KERI, Semyung Electric Machinery Co., LTD

Abstract

Recently, failure of COS(cut out switch) due to contamination has been increased. This paper is on the development of the contamination COS.

- 1 We designed a porcelain insulator of alternate shed for anti-contamination COS.
- 2 The COS was coated with HVIC(silicone) to improve resistivity to contamination.
- 3 The FOV characteristics of COS were examined to obtain dry FOV, wet FOV and contamination FOV.

1. 서 론

오손 사고는 주로 배전계통에서 발생하고 있으며, 그 중에서도 애자류와 변압기 1차측 개폐기인 COS(cut out switch)가 상당 부분을 차지하고 있다. COS의 BIL(basic insulation level)이 125 kV이므로 애관의 크기 확대는 배전계통의 절연협조면에서 또 다른 문제점이 있다. 오손이 심한 지역에서는 대부분 결합애자를 부착하여 사용하는데 이 결합 애자의 부착에 따른 무게 상승으로 금구와 시멘트가 파괴되기도 하고, COS의 휴즈가 탈락되어도 오손된 애관의 표면으로 고압의 전류가 흘러 사고가 발생하는가 하면 BIL이 커짐에 따라 계통의 절연협조도 잘 되지 않고 있다.

본 연구에서는 휴즈나 부착 금구류의 기존 상태를 유지하면서 COS애관 표면의 오손에 의한 사고를 줄이기 위하여 누설거리 확대를 기본으로 교대갓형의 새로운 애관을 설계하였으며, 실리콘 표면 처리를 통하여 내오손 특성이 향상된 COS를 개발하였다.

2. 연구 내용

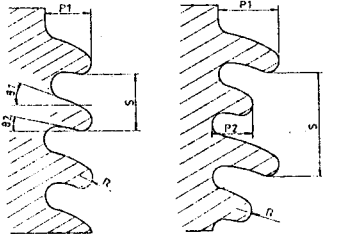
2.1 COS애관의 설계 및 제작

기존의 일반형 갓(regular shed) 애관이나 교대갓(alternate-shed) 애관은 실제 배전계통에 사용중에는 자연적인 오손이나 인위적인 (공단지역의 진해) 오손에 의하여 절연물 표면에서의 절연특성이 차이가 난다. 따라서 내오손형 애관의 설계는 형상 뿐만 아니라 누설거리, 상부 및 하부금구 중간지지핀, 휴즈걸쇠 등 여러 가지 요소를 고려해야만 한다. 특히 COS는 휴즈 단락시 휴즈통이 걸쇠로부터 탈락을 위하여 일정한 각도(15°)를 갖고 설치된다. 염진해로 오손된 후 비가 오면 오손된 물질이 씻기어 내리면서 도전로를 형성하고 섬락사고로 이어진다.

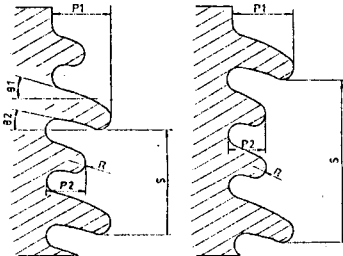
본 연구에서는 다른 부속품의 형상이나 치수에 변화를 주지 않고 COS애관의 형상과 누설거리를 바꿈으로서 내오손 특성을 향상시키는데 초점을 맞추었다. 절연물 갓(shed)의 기울기는 자연에 의한 자기세정 특성을 나타내는 요소로서 상당히 중요하다.^(1,2) 오손 지역에서는 절연물의 형상과 함께 표면 누설거리가 건조대에 의한 부분 아크방전을 일으키는 중요한 요인으로 작용하기 때문에 중오손 지역(160kg/m³)의 경우 31 mm/kV의 누설거리가 요구되며 최소 16 mm/kV는 되어야한다. 오손 정도에 따른 오손등급, 최소누설거리, ESDD(equivalent salt deposite density) 등의 관계를 표 1에 나타내었다. 설계된 COS의 경우 전극간의 거리는 변화 시키지 않았으며(125 kV BIL) 전극과 접지축의 누설거리가 350mm~400mm로 최소 누설거리가 23 mm/kV~27 mm/kV로서 오손 2등급으로 설계되었다. 형상은 그림 1의 (a), (b), (c), (d)와 같다.

Table 1. Pollution level of minimum nominal spec. creepage distance at solid-layer and salt fog methods

Pollution level	Minimum nominal spec. creepage distance(mm/kV)	Solid-layer method		salt fog method (kg/cm ²)
		ESDD(mg/cm ²)	LY(s)	
Light I	16	0.03 ~ 0.06	15 ~ 20	5 ~ 14
Medium II	20	0.10 ~ 0.2	24 ~ 35	14 ~ 40
Heavy III	25	0.3 ~ 0.6	36	40 ~ 112
VeryHeavy IV	31	-	-	160



(a) regular shed (b) alternate shed I



(c) alternate shed II (d) alternate shed III

Fig. 1. The insulator of regular shed and alternate shed for COS

2.2 실리콘고무의 코팅

실리콘을 애관에 균일 두께로 코팅을 하기 위해선 여러 가지 변수를 고려해야 한다. 애관의 형상, 회전수, 온도, 습도 등은 매우 중요하다. 고무 원료의 점도는 수분에 의한 진행반응 정도에 따라 연속적으로 변하기 때문에 초기 인액을 용매로 희석하여 어느 정도의 점성 상태로 계속 유지시켜야 하며 원료를 공급한 원료통 내부를 수분이 없는 불활성 분위기로 만들어 경화 반응이 진행되지 않게 하는 것이 중요하다. 오손형으로 설계된 애관은 교대갓이면서 누설거리가 확대되었기 때문에 갓이 얇고 끝이 깊어 점도가 있는 실리콘을 균일한 두께로 코팅하는 것은 매우 어려웠다. 즉 끝이 상당히 두껍게 코팅되면서 표면이 일정하지 못하였다. 그러므로 가속 경화를 위해 온습도 조절이 가능한 코팅기를 제작하였으며 코팅 순서를 그림 2에 나타내었다.

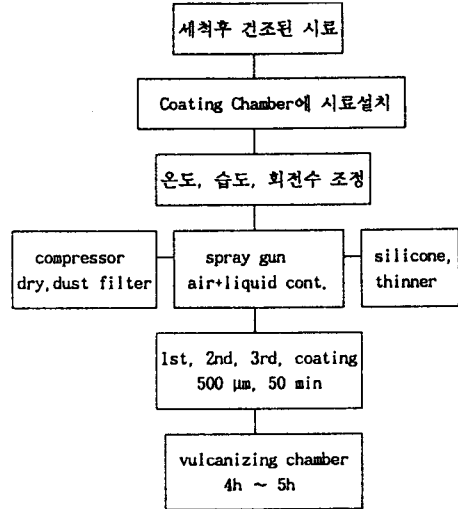


Fig. 2. Process flow of the coating

3. 결과 및 고찰

새로 설계되어 개발된 내오손형 COS애관의 형상에 따라 인공오손 실험을 포함하여 건조 및 주수 내전압 실험, 건조 및 주수 섬락전압 실험, 인공오손실험을 하였다. 시료의 종류는 표 2와 같으며, 실험 방법은 ANSI 및 ESB를 참고로 하였고 편의상 애관의 형상, 큰 갓의 수 및 코팅 유무에 따라 약어로 표시하였다.^(3,4)

Table 2. Type of insulation

애관종류	애관의 형상 및 HVIC 코팅 유무
I	교대갓으로 큰 갓이 4개이며 코팅된 상태
II	교대갓으로 큰 갓이 3개이며 코팅된 상태
III	교대갓으로 큰 갓이 3개이며 사이에 작은 갓이 2개, 코팅된 상태
IV	교대갓으로 큰 갓이 4개이며 코팅되지 않음
V	교대갓으로 큰 갓이 3개이며 코팅되지 않음

(A : alternate shed, H : HVIC 코팅, 2 : 작은 갓의 수, 3, 4 : 큰 갓의 수)

3.1 건조 및 주수 내전압 실험

건조 내전압 실험은 건조 상태에서 일정한 전압을 인가했을 때 견디는 절연내력을 측정하기 위한 것으로 COS는 휴즈가 연결되어 조립된 상태로 상용 주파수의 42 kV에서 1분간 유지되어야 한다. 주수 내전압 실험은 강우시 애관의 절연내력을 보기 위하여 하는 것으로 사용하는 물의 저항은 IEC나 ESB에 따라 10000 Ω.cm 으로

하였으며, 주수 방향은 수평 성분(1.0~0.5 mm/min)과 수직성분(3mm/min)을 함께 주수하였다. 시료는 표 2와 같으며 한 종류에 3개의 시료를 실험하였다. 건조내전압의 결과와 주수내전압의 결과를 표 3에 같이 나타내었다.

Table 3. Dielectric strength in dry and wet COS proto-type

시료수 애관종류	조건	애관 1	애관 2	애관 3
		FO or NFO	FO or NFO	FO or NFO
I	건 조	NFO	NFO	NFO
	주 수	NFO	NFO	NFO
II	건 조	NFO	NFO	NFO
	주 수	NFO	NFO	NFO
III	건 조	NFO	NFO	NFO
	주 수	NFO	NFO	NFO
IV	건 조	NFO	NFO	NFO
	주 수	NFO	NFO	NFO
V	건 조	NFO	NFO	NFO
	주 수	NFO	NFO	NFO

(F O: flash over, N F O: non flash over)

3.2 건조 및 주수 섬락전압 실험

섬락전압은 두 전극간에 기중을 통해 지속적인 방전을 일으키는 교류(60Hz) 전압의 실효치를 말하며 조건(온도, 기압)에 따라서 변화하지만 이들의 영향을 배제한다면 대부분이 애관의 형상에 의하여 그 값은 결정된다. 따라서 COS의 경우 개발 시험에 준하면 섬락전압 값은 요구하지 않지만 내오손형으로 설계를 변형했기 때문에 건조와 주수 상태에서 섬락전압 실험도 병행하였다. 섬락 실험은 1종류의 애관을 3개씩 7회 섬락시켰으며 최대 섬락전압과 최소 섬락전압을 제외한 5개의 값을 평균하였다. 건조 섬락 전압과 주수 섬락전압을 표 4에 나타냈다.

Table 4. FOV indry/wet COS proto-type

시료수 애관종류	조건	애관 1	애관 2	애관 3
		섬락전압(kV)	섬락전압(kV)	섬락전압(kV)
I	건 조	86.8	85.9	85.6
	주 수	72.6	72.6	62.0
II	건 조	89.0	89.8	86.5
	주 수	64.0	65.6	56.0
III	건 조	86.7	84.6	85.0
	주 수	62.0	66.6	67.5
IV	건 조	90.0	89.2	89.0
	주 수	66.0	59.0	-
V	건 조	89.0	89.0	89.8
	주 수	63.6	60.6	-

* 기존형 COS의 섬락전압 : 65, 64, 66, 63, 61 kV.

건조 상태에서 섬락전압은 대체로 85 kV에서 90 kV 정도이었다. 기존형이 60 kV에서 65 kV 정도인 것에 비해 누설거리의 확대와 형상 설계의 변형으로 인하여 섬락전압 값이 15 kV에서 20 kV 정도 상승하였다. II, V가 I, IV 보다 누설거리가 짧음에도 불구하고 유사한 섬락전압을 나타내는 것은 전극에 접하고 있는 컷의 크기에 따른 전계완화 효과가 있음을 의미한다. 한편 주수 섬락전압은 설계를 통한 누설거리 확대 효과와 HVIC을 이용한 표면 재질 효과가 큰 것으로 확인되었다. 코팅을 하지 않은 IV, V 보다 코팅한 I, II의 주수 섬락전압이 상당히 높았으며 I이 II보다 높은 것은 절연물의 표면을 따라 전류가 흐르기 시작하여 섬락으로 진행되는 점을 감안하면 누설거리 확대와 HVIC 코팅의 효과에 의한 것임을 알 수 있다. 그리고 HVIC을 코팅한 애관에 있어서 섬락 횟수가 증가함에 따라 섬락전압이 어느 정도까지 계속 떨어지는 것이 확인되었는데 이는 섬락으로 인한 HVIC 표면의 발수성 저하에 기인한 것으로 보인다.

3.3 인공오손 실험

인공오손 실험 방법으로는 오손선행법과 염수분무법이 있는데 오손선행법인 경우 오손 물질인 SiO₂, caoline, 염수 등이 혼합된 오손액에 절연물을 넣었다 꺼낸 후 수증기로 포화시킨 뒤 전압을 인가하는 방법이다. 그러나 개발한 HVIC이 코팅된 COS인 경우 발수성이 좋은 실리콘코팅으로 처리되어 있기 때문에 인위적인 표면 오손이 되지 않는다. 따라서 염수분무법을 선택하였으며 비중을 표7에 나타냈다. COS는 국내에서 내오손형으로 개발되어 있지 않기 때문에 기술 사양이나 표준 실험 방법 등이 정립되지 않은 상태이다. COS애관이 배전계통에서 사용되고 있으므로 내전압 실험에서는 상간 최대 전압과 대기간을 실험 전압(14.9kV)으로 정하였으며 설계 변형에 따른 애관의 상용 주파수 섬락전압을 구하였다.

Table 7. Gravity of salt water by contamination level

오손등급	I 등급	II 등급	III 등급	IV 등급
염수비중	1.006	1.014	1.044	1.106

염수는 오염되지 않은 수돗물에 식염(99.9%)을 용해시켜 만들었으

며 압축된 공기를 이용해 염무실에 포화가 되도록(대략 1시간) 분무시켰다. 분무 속도는 $0.5\text{dm}^3/\text{min} \pm 10\%$ 오차는 $\pm 5\%$ 이내이며 염무실에 온도는 $5^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 를 유지시켰고, 회로는 그림 3과 같다.

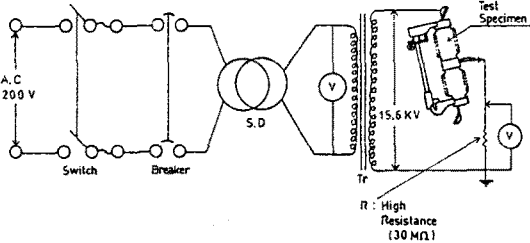


Fig. 3. Test circuit of FOV artificial contamination

내오손형 COS에관은 기존형보다 4등급의 오손 상태에서 3 kV, 1등급에서 6 kV 정도의 높은 섬락전압을 나타내었으며 실리콘코팅을 코팅한 에관에 대해서는 오손실험 변압기 최대 인가 전압인 37 kV에서도 섬락 되지 않았으므로 내오손 특성이 우수한 COS인 것으로 확인되었다. 3등급 오손에서는 I, II type의 섬락전압은 오손 실험장의 온도, 노즐상태 등으로 인한 실험 오차로 추측된다. 인공 오손 내전압 실험 결과 개발된 COS I, II, III type은 중오손 상태에서 섬락 되지 않는 절연내력을 나타냈다. 내오손형으로 설계 되었으나 코팅되지 않은 COS는 오손등급 2, 3등급에서 섬락은 일어났지만 기존형과는 시간적으로 차이를 보였으며, 코팅한 상태에서는 형상 변형에 의한 섬락 유무는 구별되지 않았다. 이것은 실리콘 코팅에 의한 효과가 지배적인 것으로 보이며, 건조섬락 전압에 비취 봐서 형상 설계 및 누설거리의 영향도 배제 할 수 없는 것으로 추측된다.

4. 결 론

고대갓 형태의 에관을 제작하여 HVIC을 코팅한 COS는 염진해 특성이 향상되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1 주수와 건조 상태에서 전압 내력이 있었으며, 섬락전압은 기존의 COS보다 15 kV에서 20 kV 이상 높은 값을 나타내었다.
- 2 오손 상태에서는 4등급의 절연내력을 나타내었다.
- 3 I, II 형은 오손4등급(37 kV)에서 섬락 되었다. (기존 14kV)

참고 문헌

1. J.S.T. Looms, "Insulator for High Voltage", Peter Peregrinus, 1988
2. Guide for the Selection of Insulators in Respect of Polluted Condition, IEC Report 815.
- 3: 한국전력공사, 표준규격, ESB 130, 131, 132, 1984
4. 原田達哉, "高電壓試驗 핸드ブック, 日本電氣學會, 1983.